

**РАДІОЛОГІЧНІ, МІКОЛОГІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ЕДАФОТОПІВ СМІТТЄЗВАЛИЩ З ПІДВИЩЕНИМ ТЕМПЕРАТУРНИМ
РЕЖИМОМ (НА ПРИКЛАДІ ДОСЛІДЖЕНЬ
ЛЬВІВСЬКОГО МІСЬКОГО ПОЛІГОНУ У 2012-2021 РОКАХ)**

**RADIOLOGICAL, MYCOLOGICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF
EDAPHOTOPES OF LANDFILLS WITH HIGHER TEMPERATURE REGIMES
(ON THE CASE OF LVIV CITY LANDFILL RESEARCH IN 2012-2021)**

Василь Попович, проректор з наукової роботи, e-mail: popovich2007@gmail.com, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2857-0147>

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.24>

Анотація. На прикладі комплексних досліджень Львівського міського сміттєзвалища у 2012-2021 роках відображено антропогенний вплив, у вигляді відкритого складування побутових відходів на довкілля. Результати досліджень увійшли до докторської дисертації. Встановлено, що у едафотопіях Львівського сміттєзвалища на усіх досліджуваних ділянках ГДК перевищує такий поллютант як свинець. Причому, на відстані 500 м від підніжжя сміттєзвалища у горизонті 5-15 см його значення перевищували ГДК більш ніж у 20 разів. Також на цій ділянці перевищував ГДК вміст цинку (31 мг/кг при ГДК=23 мг/кг). На решта ділянках вміст цинку в едафотопіях не перевищував допустиму норму. За 20 м на захід від сміттєзвалища у горизонті 5-15 см та >15 см вміст Cu перевищує ГДК (3 мг/кг) у 3 рази та становить 14,6 мг/кг та 15 мг/кг відповідно. На відстані 100 м від підніжжя у горизонті >15 см спостерігається перевищення допустимих норм миш'яку (2,1 мг/кг). Вміст Cr на всіх ділянках сміттєзвалища та у зоні його впливу не перевищує 0,01 мг/кг (ГДК становить 6 мг/кг). Перевищення допустимих норм вмісту радіонуклідів у едафотопіях сміттєзвалищ не спостерігається. Аналіз мікологічного складу антропогенних субстратів Львівського міського сміттєзвалища показав, що видовий склад грибів надзвичайно збіднений. Причиною таких явищ є підвищена кислотність субстрату (мікроміцети при такій умові гинуть) та високий вміст важких металів (чутливість родів *Phoma* і *Fusarium*). Розвиток мікроміцетів роду *Penicillium* є свідченням агресивного середовища в умовах антропогенно змінених умов довкілля. У зоні впливу горіння сміттєзвалищ колонії мікроміцетів мають незначний видовий склад. Субстрат характеризується низьким вмістом гумусу, кислою реакцією середовища, високою звязністю. Виявлені мікроміцети у зоні горіння є індикаторами забруднення важкими металами субстратів, викликають різноманітні захворювання людей, у тому числі алергічні реакції.

Ключові слова: сміттєзвалище, еколого-техногенна небезпека, радіонукліди, важкі метали, мікроміцети

Abstract. Comprehensive studies of the Lviv municipal landfill in 2012-2021 reveal the anthropogenic impact of open storage of household waste on the environment. The results of the research were published in a doctoral dissertation. It was established that in the edaphic soils of the Lviv landfill, the maximum permissible concentration (MPC) of lead exceeds the MPC in all examined areas. Moreover, at a distance of 500 m from the foot of the landfill, at a depth of 5-15 cm, its value exceeded the MPC by more than 20 times. The zinc content also exceeded the MPC in this area (31 mg/kg at MPC=23 mg/kg).

In the rest of the areas, the zinc content in the edaphic horizons did not exceed the permissible limit. At a distance of 20 m west of the landfill, at a depth of 5-15 cm and >15 cm, the Cu content exceeds the MPC (3 mg/kg) by 3 times and amounts to 14.6 mg/kg and 15 mg/kg, respectively. At a distance of 100 m from the foot of the landfill, in the horizon >15 cm, the permissible limits for arsenic (2.1 mg/kg) are exceeded. The Cr content in all areas of the landfill and in its zone of influence does not exceed 0.01 mg/kg (the MPC is 6 mg/kg). No exceedance of permissible radionuclide content in landfill edaphic soils was observed. Analysis of the mycological composition of anthropogenic substrates at the Lviv municipal landfill showed that the species composition of fungi is extremely impoverished. The reason is the high acidity of the substrate (micromycetes die in these conditions) and the high content of heavy metals (sensitivity of the *Phoma* and *Fusarium* genera). The development of micromycetes of the *Penicillium* genus is evidence of an aggressive environment in anthropogenically altered environmental conditions. In the zone affected by landfill burning, colonies of microfungi have a limited species composition. The substrate is characterized by low humus content, acidic reaction, and high cohesion. The microfungi found in the combustion zone are indicators of heavy metal contamination of substrates and cause various human diseases, including allergic reactions.

Keywords: landfill, ecological and technogenic hazard, radionuclides, heavy metals, microfungi.

1. ВСТУП

У техногенних едафотопих сміттєзвалищ, які формуються в тих же ландшафтних умовах, що й природні, відбувається зміна побудови їх морфологічного профілю і властивостей, відмічається трансформація та перебудова низки геохімічних процесів^{736,737}. Морфологічний профіль едафотопів деастрованих ландшафтів сміттєзвалищ відрізняється від фонових, які розвинені у аналогічних літолого-геоморфологічних умовах. У верхніх частинах їх профілю спостерігається розвиток техногенних наносів товщиною 5-30 см, які характеризуються насипним чи аерально утвореним матеріалом чорно-бурого кольору, зазвичай із включеннями органічного будівельного сміття. Нижня частина цього профілю дотикається, безпосередньо, до шару запресованого сміття. Незалежно від складу ґрунтоутворювальних порід (піску чи суглинків), на сміттєзвалищах відбувається ущільнення профілю ґрунтів, особливо верхніх горизонтів (притаманне рекультивованим ділянкам), яке призводить до зміни їх структури: укрупнені агрегати стискаються і це призводить до збільшення зв'язності ґрунтів.

Від реакції середовища і від того, які іони переважають у ґрунтовому розчині, залежить поглинання важких металів ґрунтом. У кислому середовищі адсорбуються Cu, Pb, Zn а в лужному інтенсивно поглинаються Cd, Co. Велике значення для адсорбції важких металів має органічна речовина ґрунтів та оксиди (гідроксиди) Fe, Al, Mn, що актуально в районах складування відходів.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

З метою вивчення фізико-хімічного, мікологічного та радіонуклідного складу едафотопів та їх вплив на розвиток рослинності сміттєзвалищ нами відбиралися проби неорельєфу безпосередньо на поверхні та у зоні впливу в таких місцях: на поверхні Львівського міського сміттєзвалища (5-15 см); за 20 м на захід від поверхні сміттєзвалища (5-15 см та >15 см); на північній експозиції схилу (5-15

⁷³⁶ Василь Попович, "Еколого-техногенна небезпека сміттєзвалищ та наукові основи фітомеліоративних заходів їх виведення з експлуатації" (автореф дис д-ра техн наук, М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т 2017) URL: <<https://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/3841>>.

⁷³⁷ Dana Adamcová та інші, "Environmental assessment of the effects of a municipal landfill on the content and distribution of heavy metals in *Tanacetum vulgare* L." (2017) 185 *Chemosphere* 1011, XXXX <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.060>>.

см та >15 см); біля підніжжя зі сходу (у місцях руху геохімічних потоків); за 100 м на схід від підніжжя (5-15 см та >15 см); за 500 м на схід від підніжжя (5-15 см та >15 см).

Неоднорідність та різнобічність відбору проб спричинені природним розташуванням сміттєзвалища (у місці колишнього піщаного кар'єру); хаотичним відсипанням сміття; геопотоками забруднюючих речовин та аерацією, переважно, у східному напрямі; незначною глибиною залягання новоутвореного едафотопу, особливо на поверхні та бічних сторонах. На Львівському сміттєзвалищі та у зоні його впливу внаслідок деградаційних процесів сформувалися три типи едафотопів: природні, які фізично не порушені, проте забруднені фільтратами; антропогенні, які порушені будівельною технікою та забруднені поллютантами внаслідок формування тіла сміттєзвалища; насипні, які сформувалися внаслідок завезення родючих ґрунтів при спробі впровадження гірничотехнічного етапу рекультивації.

Також були відібрані зразки субстратів із поверхні сміттєзвалища у зоні впливу підвищених температур з метою виявлення та опису найбільших колоній мікроміцетів. Культивування мікроміцетів проводили на мінеральному поживному середовищі Чапека протягом 90 діб. Найбільші колонії мікроміцетів наведено на рисунку 1.

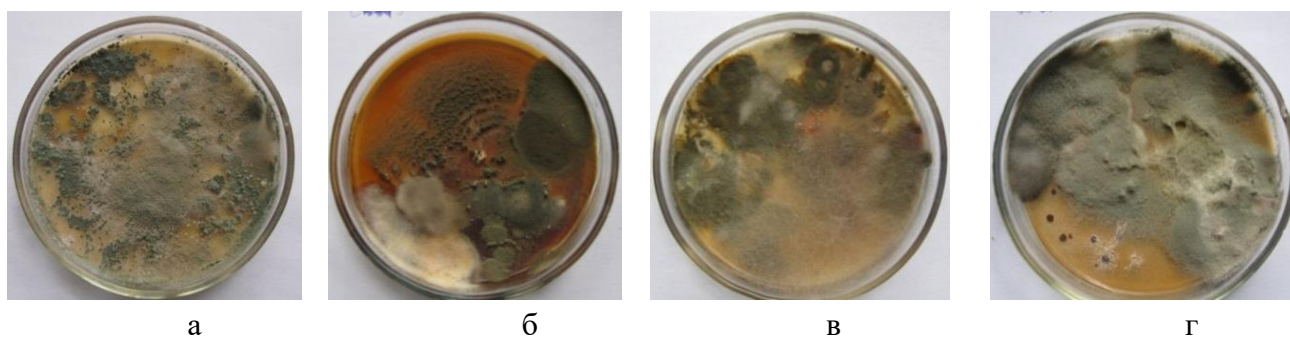


Рисунок 1. Найбільші колонії мікроміцетів біля осередків горіння твердих побутових відходів на сміттєзвалищі: а - Колонія *Aspergillus fumigatus*, б - Колонія *Aspergillus niger*, в - Колонія *Rhizopus oryzae*, г - Колонія *Penicillium ochro-chloron*

Величину питомої активності природних радіонуклідів визначали як зважену суму питомих активностей радію-226, торію-232, калію-40 за формулою⁷³⁸:

$$A_{\text{еф}} = A_{\text{Ra}} + 1,31A_{\text{Th}} + 0,085A_{\text{K}} \quad (1)$$

де, 1,31 і 0,085 – зважуючі коефіцієнти для торію-232 і калію-40 відповідно у відношенні до радію-226.

Величини ефективної питомої активності та питомих активностей окремих радіонуклідів визначали в одиницях бекерель на кілограм (Бк/кг).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Максимальне значення рН едафотопів притаманні ділянкам, які знаходяться на певній відстані від звалища (нейтральна реакція). Мінімальні значення (рН = 3,0-5,0) виявлено на поверхні звалища (кисла реакція середовища).

На глибині 5 см максимальне значення рН виявлено за 100 м від підніжжя звалища і біля озер з фільтратом (рН = 7,0), мінімальне - на сході звалища в середній частині (рН = 3,5) і на півночі

⁷³⁸ Про введення в дію Державних гігієнічних нормативів "Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)": Постанова Голов. держ. санітар. лікаря України від 01.12.1997 № 62, <<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0062282-97#Text>>.

звалища в середній частині (рН = 4,5). На глибині 10 см максимальне значення рН також виявлено за 100 м від підніжжя звалища і біля озер з фільтратом (рН = 7,0), мінімальне - на півночі звалища в середній частині (рН = 3,5). На глибині 20 см максимальне значення рН спостерігається за 500 м від підніжжя звалища, а також за 100 м від підніжжя і біля озер з фільтратом (рН = 7,0), мінімальне - на півночі звалища в середній частині (рН = 3,0) і на вершині із заходу (рН = 4,0).

На середній експозиції схилів звалища кислотність едафотопів має найменші значення (рН = 3,0-4,5). Реакція середовища від кислої переходить до нейтральної при віддаленні від місць накопичення твердих побутових відходів (рис. 2). Високі значення рН едафотопів сміттєзвалищ пов'язані із потраплянням в ґрунт, разом із атмосферними опадами, карбонатної кислоти. Встановлено, що найбільшого розвитку на кислих едафотопіях набули такі види трав'яної та деревно-чагарникової рослинності: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Taraxacum officinale* Wigg., *Arctium lappa* L., *Equisetum arvense* L., *Humulus lupulus* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Betula pendula* Roth. (поодинокі). На ділянках із нейтральною реакцією розвиваються дерева та чагарники: узлісся за 50 м із заходу сміттєзвалища – *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L. (поодинокі); вершина за 20 м із півночі сміттєзвалища – *Acer negundo* L., *Robinia pseudoacacia* L. (поодинокі), *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *Ligustrum vulgare* L., *Hippophae rhamnoides* L.; за 100 м від підніжжя із сходу сміттєзвалища – *Populus alba* L., *Betula pendula* Roth., *Salix caprea* L., *Pyrus communis* L., *Malus silvestris* Mill.; за 500 м від підніжжя із сходу сміттєзвалища – *Populus alba* L., *Crataegus ucrainica* Pojark., *Thelycrania alba* (L.) Pojark., *Ligustrum vulgare* L.

Таким чином, кислі техноедафотопи (рН=3÷4,5) пригнічують розвиток деревно-чагарникової рослинності на поверхні сміттєзвалища.

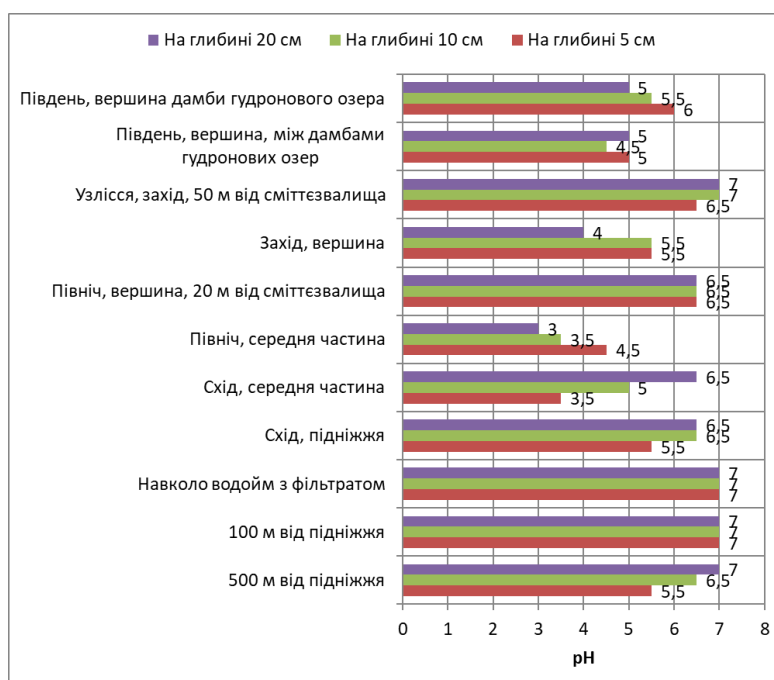


Рисунок 2. Значення рН едафотопів Львівського сміттєзвалища на різній глибині

На поверхні сміттєзвалища переважають кислі едафотопи зі значеннями рН = 3,0-4,5. При віддаленні від звалища на відстань до 500 м проявляється нейтральна реакція середовища. У зоні

впливу звалищ необхідно вивчати кислотність едафотопів для правильного вибору рослинних угруповань при проведенні рекультиваційних і фітомеліоративних робіт^{739,740}.

Значення зв'язності едафотопів (або опору зм'яттю за Качинським) Львівського сміттєзвалища знаходяться у межах 1-7 кг/см³. У випадках найнижчих показників зв'язності вологість едафотопу на глибинах 5, 10, 20 см збільшується (рис. 3). Найбільші значення опору зм'яттю техоедафотопів (6-7 кг/см³) притаманні тим ділянкам сміттєзвалища, де немає обмеженого доступу для людей та транспортних засобів, тобто відбувається штучне ущільнення: зі сходу біля підніжжя, навколо фільтраційних водойм, на узліссі за 50 м від звалища, на вершині із заходу (випасання худоби відбувається), з півночі на середній експозиції схилу. Найменші показники зв'язності зафіксовано (1,0-1,5 кг/см³) зі сходу на середній експозиції схилу та за 20 м північніше від сміттєзвалища. Ці значення зв'язності техоедафотопу є найбільш сприятливими для сингенетичної стадії сукцесії у зв'язку із наявністю природного ущільнення. Решта значень (4,0-5,5 кг/см³) також сприяють розвитку рослинності на поверхні сміттєзвалища.

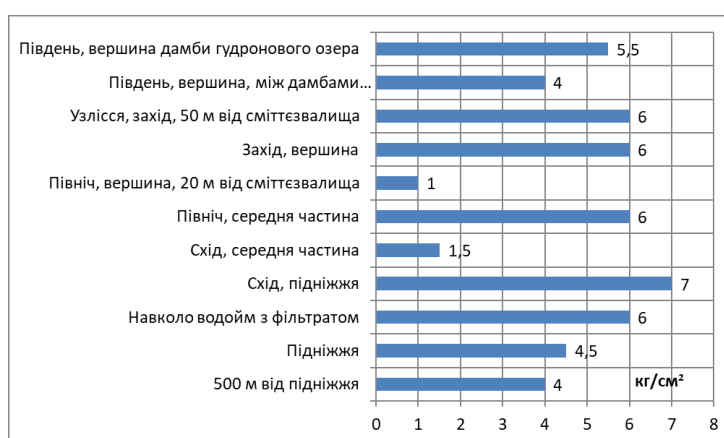


Рисунок 3. Зв'язність едафотопів Львівського сміттєзвалища

Дослідження фізико-хімічних властивостей насипних ґрунтосумішей Львівського сміттєзвалища, які були завезені для спроби біологічного етапу рекультивації, показали, що без штучного регулювання сукцесійних процесів та сприяння природному заростанню, навіть родючі ґрунти перетворюються під дією негативних чинників сміттєзвалищ на непридатний для розвитку рослинності едафотоп. Вміст гумусу в такому едафотопі становив всього 0,8% . Склад мінеральних речовин для живлення рослинності також має низькі показники: NO₃ складає 27,7 мг/100 г ґрунту, P₂O₅ – 26,1 мг/100 г ґрунту, K₂O – 57,2 мг/100 г ґрунту.

Важливу роль для розвитку рудеральної рослинності сміттєзвалищ відіграє вологість едафотопу. Вимірювання вологості на досліджуваних ділянках проводилися на глибині 5, 10, 20 см. Результати вимірювань наведено на рис. 4. Максимальні значення вологості техоедафотопу на глибині 5 см зафіксовано зі сходу на середній експозиції схилу (82,5%) та на дамбі гудронових озер (82,2%), що відповідає фоновому значенню за 500 м від сміттєзвалища (82,0%). Мінімальні значення вологості на глибині 5 см виявлено біля узлісся на захід 50 м від сміттєзвалища (27,5%) та за 20 м від вершини сміттєзвалища північніше (30,4%). Тобто, вологість техоедафотопів на глибині 5 см на сміттєзвалищі не є мінімальною та більша 30%.

⁷³⁹ Magdalena D Vaverková та інші, "The use of vegetation as a natural strategy for landfill restoration" (2018) 29(10) Land Degradation & Development 3674, XXXX <<http://dx.doi.org/10.1002/ldr.3119>>.

⁷⁴⁰ Samir AYDI та інші, "Phytoremediation potential of native plants: Biomonitoring approach in contaminated soils" (2023) 51(2) Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 13063, <<http://dx.doi.org/10.15835/nbha51213063>>.

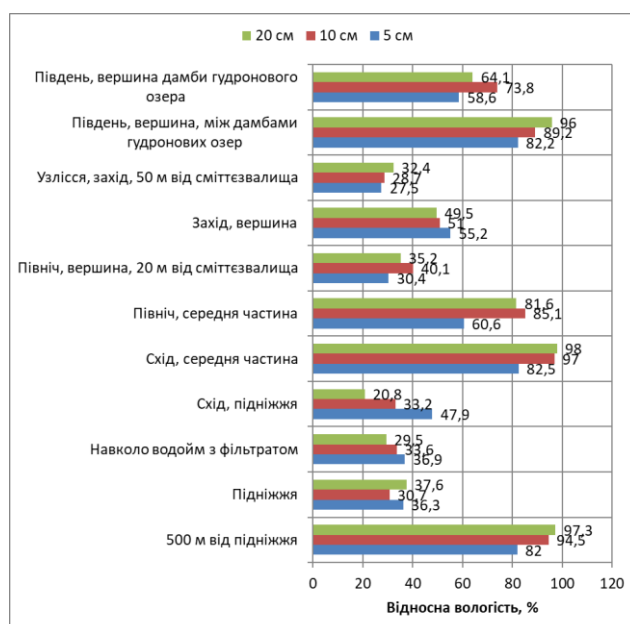


Рисунок 4. Вологість едафотопів Львівського сміттєзвалища

При вимірюванні вологості на глибині 10 см максимальні значення зафіксовані зі сходу на середній експозиції схилу сміттєзвалища (97%) та на дамбі гудронових озер (89,2%). Найменші показники вологості на глибині 10 см виявлено біля узлісся на захід 50 м від сміттєзвалища (28,7%) та зі сходу біля підніжжя сміттєзвалища (30,7%). Фонове значення за 500 м від сміттєзвалища, на глибині 10 см, становить 94,5%. Загалом едафічні умови на глибині 1-10 см на досліджуваних ділянках сміттєзвалища є позитивними для розвитку рудеральної рослинності (*Chenopodium urbicum* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Cirsium vulgare* (Savi.), *Equisetum arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L.) з точки зору зволоження.

На глибині 20 см максимальна вологість техногенних едафотопів виявлена зі сходу на середній експозиції схилу (98%) та на дамбі гудронових озер (96%). Мінімальні показники вологості на глибині 20 см притаманні підніжжю зі східного боку (20,8%) та узлісся на захід 50 м від сміттєзвалища (32,4%). Фонове значення за 500 м від сміттєзвалища, на глибині 20 см, становить 97,3%.

Загалом, вологість едафотопів на глибині 20 см і більше має позитивний вплив на розвиток деревно-чагарникової рослинності, що є особливо актуальним для сміттєзвалищ. Тому, навколо гудронових озер (на дамбах) та за 500 м від підніжжя сміттєзвалища з'являються такі дерева та чагарники як *Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., *Acer negundo* L., *Populus tremula* L., *Fraxinus excelsior* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Salix caprea* L., *Rubus caesius* L., що свідчить про добрий вологісний режим на цих ділянках.

Дослідження едафотопів Львівського сміттєзвалища на вміст важких металів показали, що на усіх досліджуваних ділянках ГДК перевищує такий полютант як свинець. Причому, на відстані 500 м від підніжжя сміттєзвалища у горизонті 5-15 см його значення перевищували ГДК більш ніж у 20 разів. Також на цій ділянці перевищував ГДК вміст цинку (31 мг/кг при ГДК=23 мг/кг). На решта ділянках вміст цинку в едафотопі не перевищував допустиму норму. За 20 м на захід від сміттєзвалища у горизонті 5-15 см та >15 см вміст Cu перевищує ГДК (3 мг/кг) у 3 рази та становить 14,6 мг/кг та 15 мг/кг відповідно. Причому вміст міді на поверхні сміттєзвалища (2,8 мг/кг) наближений до граничнодопустимих норм. Вміст Со на досліджуваних ділянках та у зоні впливу сміттєзвалища не перевищує допустимі концентрації (5 мг/кг) та становить 0,8-1,2 мг/кг (рис. 5).

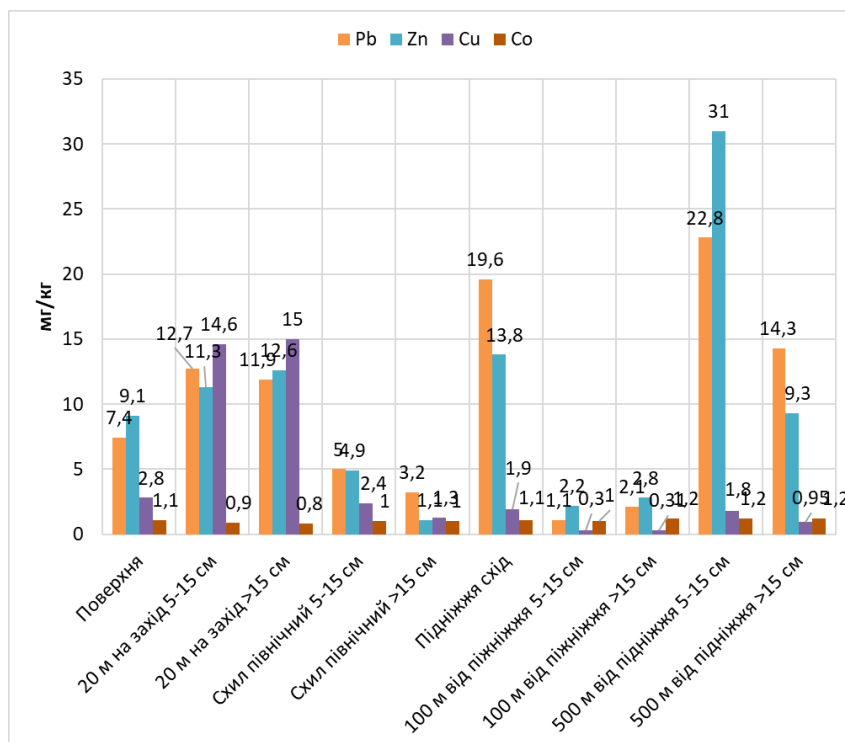


Рисунок 5. Вміст важких металів Pb, Zn, Cu, Co у едафотопях Львівського сміттєзвалища

Моделювання поширення важких металів Pb, Zn, Cu, Co у едафотопях Львівського сміттєзвалища наведено на рис. 6-13.

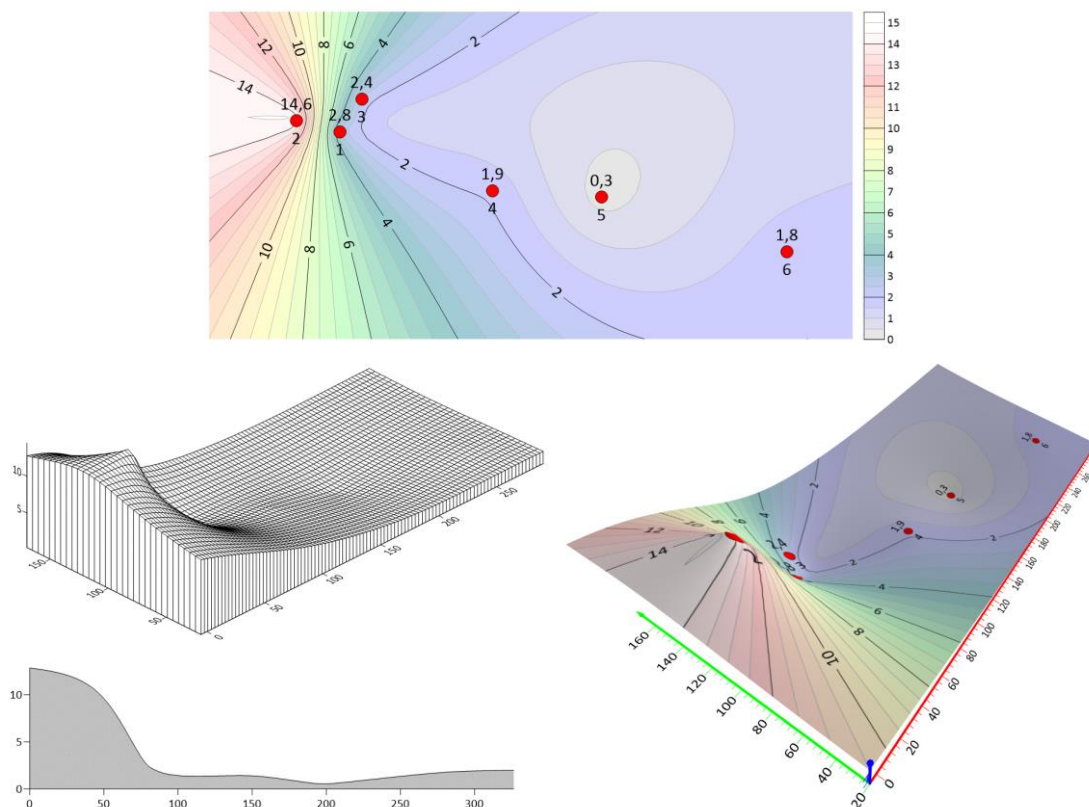


Рисунок 6. Моделювання поширення Cu у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

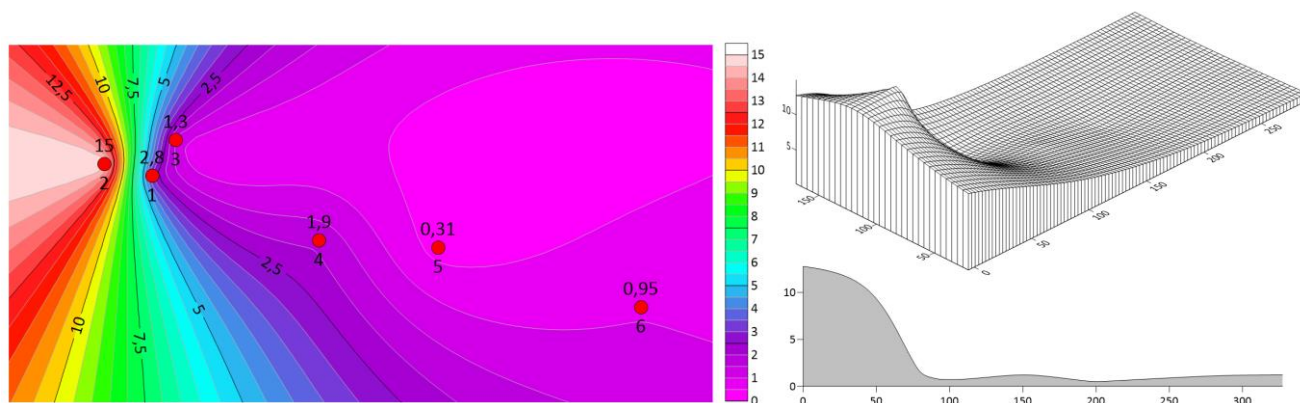


Рисунок 7. Моделювання поширення Cu у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

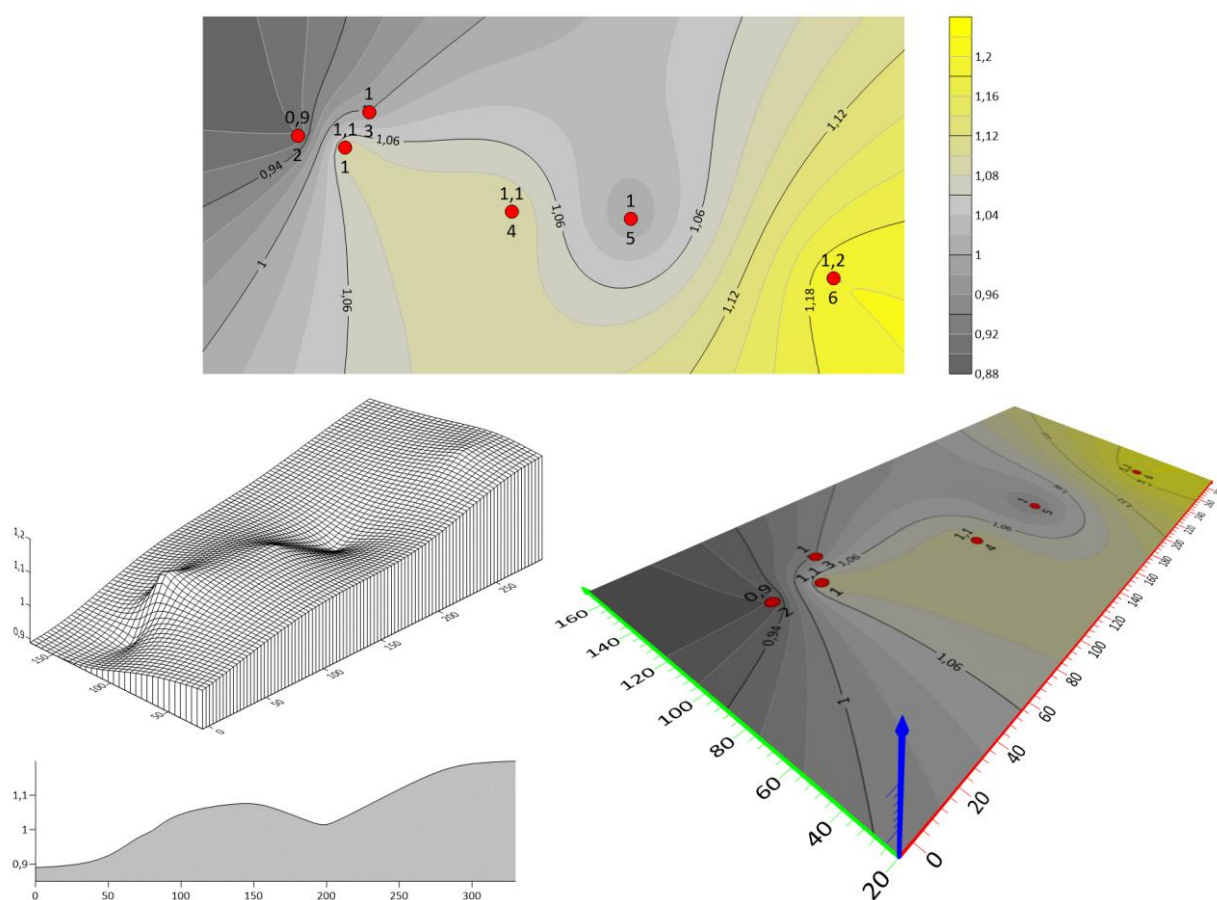


Рисунок 8. Моделювання поширення Co у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

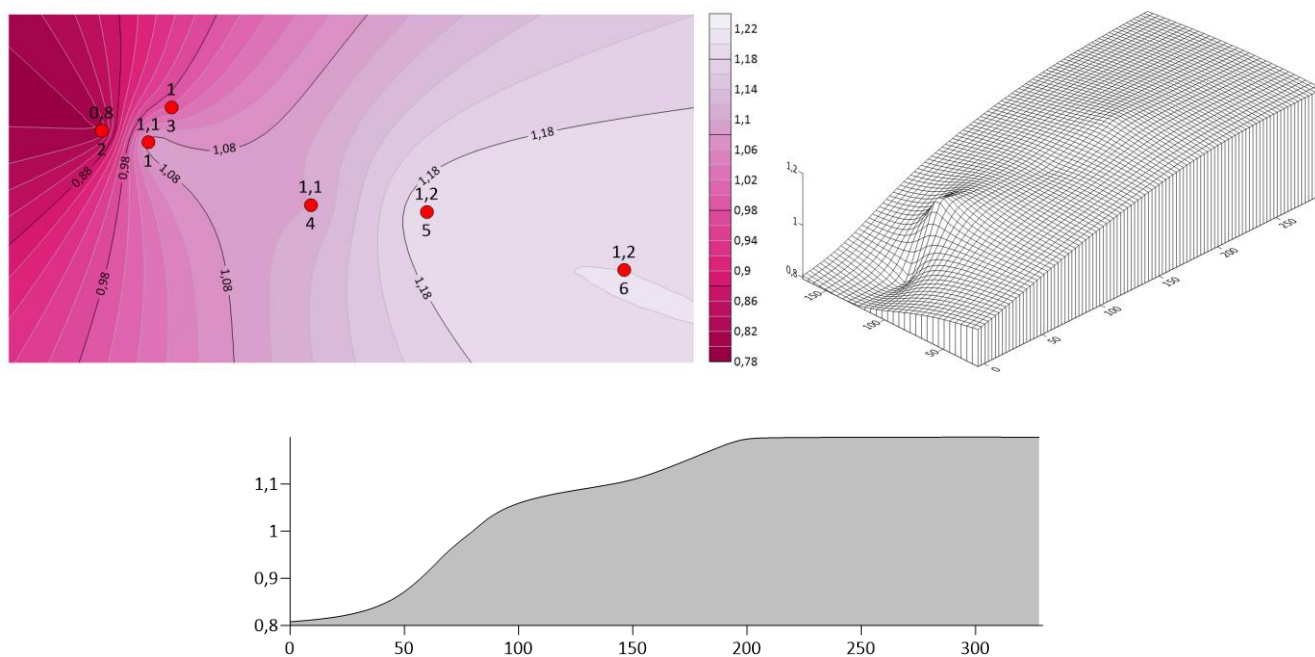


Рисунок 9. Моделювання поширення Со у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

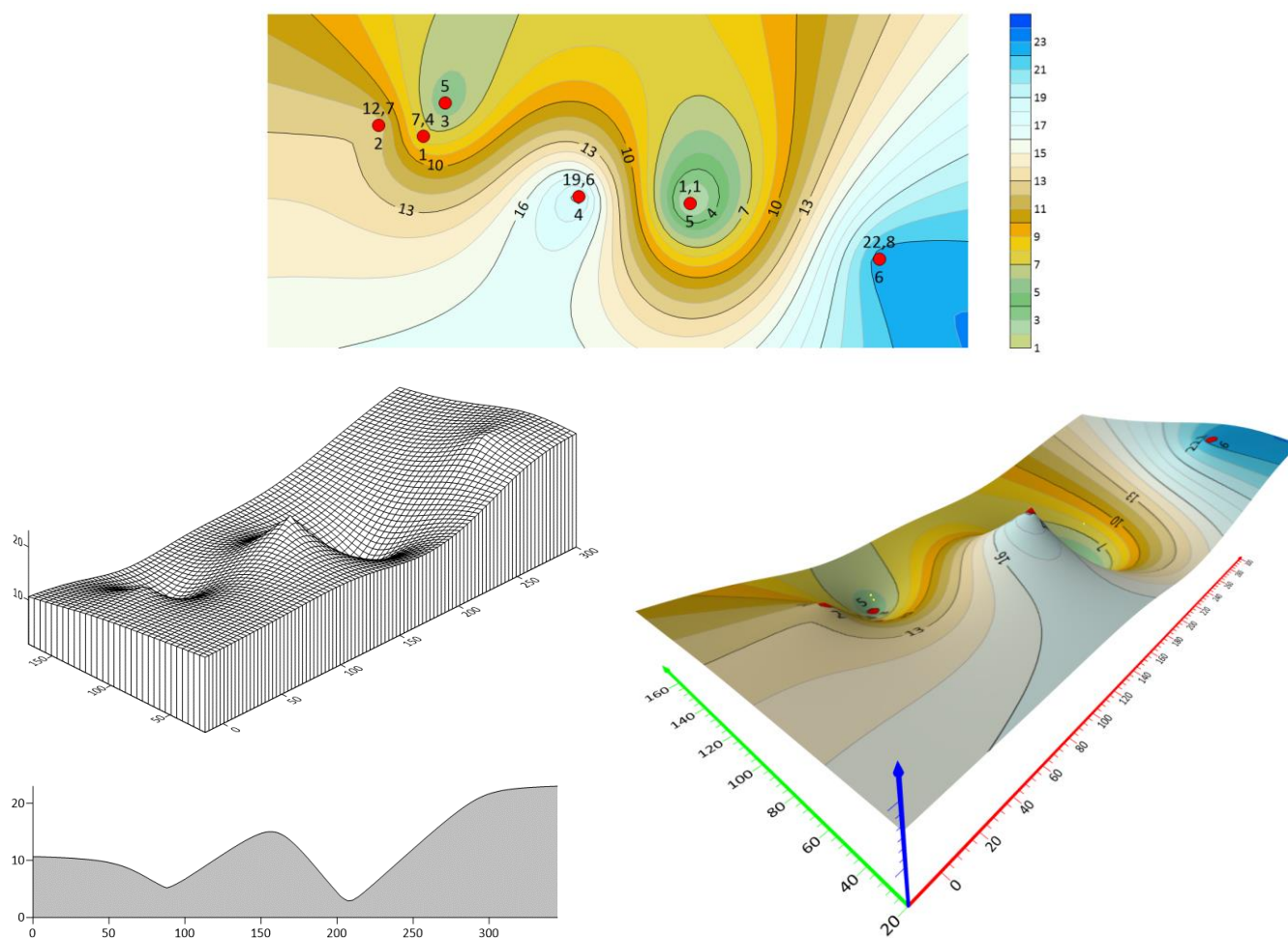


Рисунок 10. Моделювання поширення Рв у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

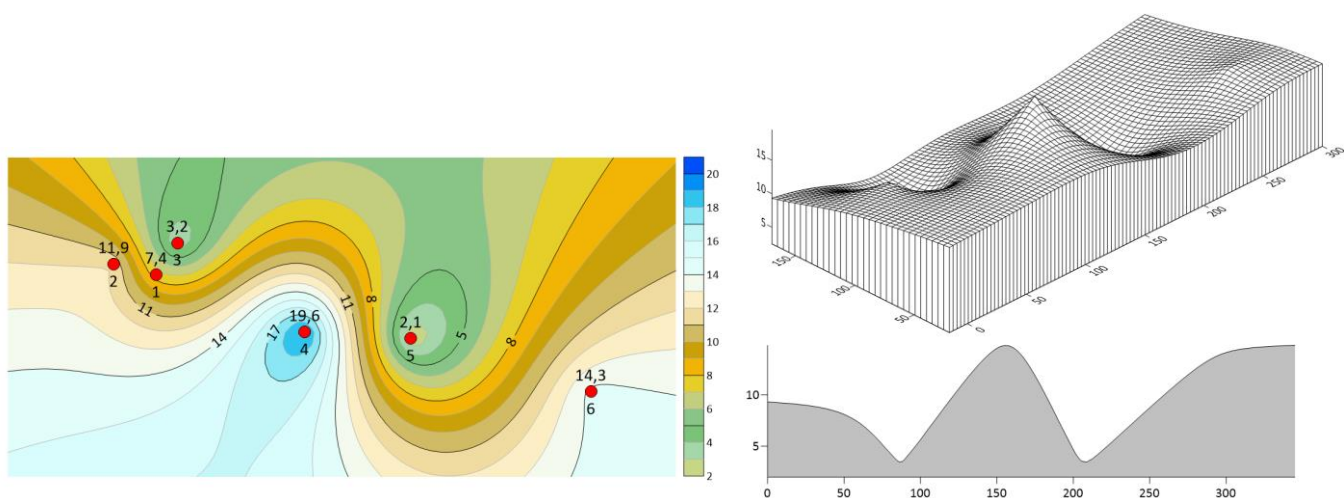


Рисунок 11. Моделювання поширення Pb у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

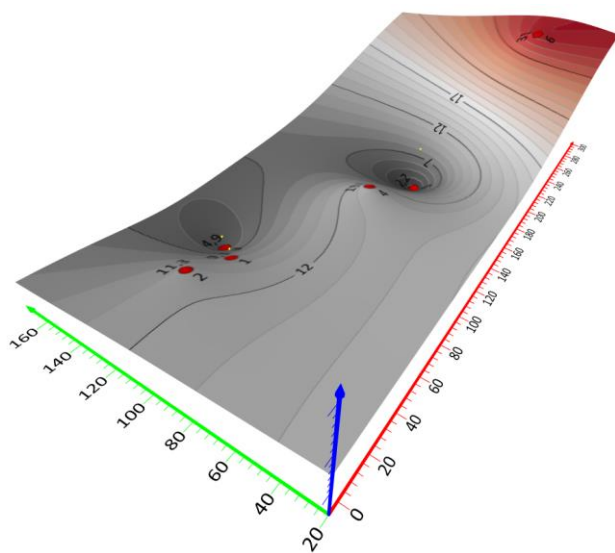
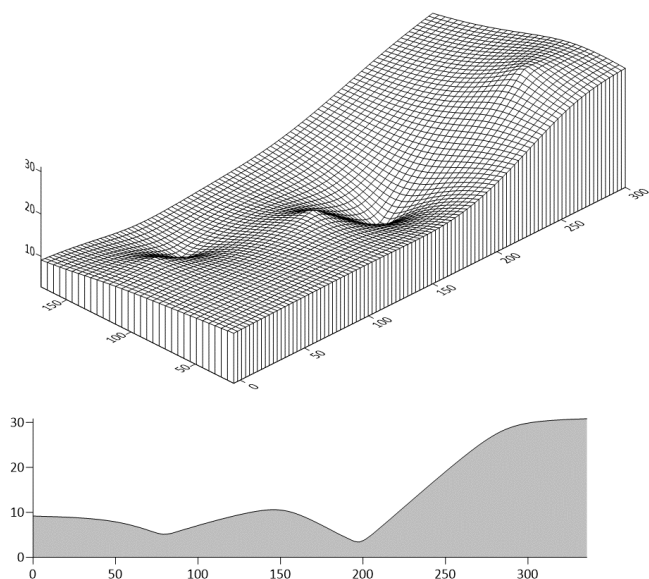
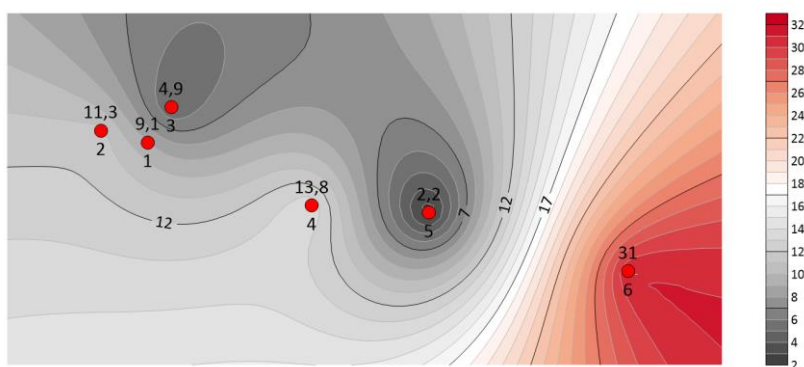


Рисунок 12. Моделювання поширення Zn у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

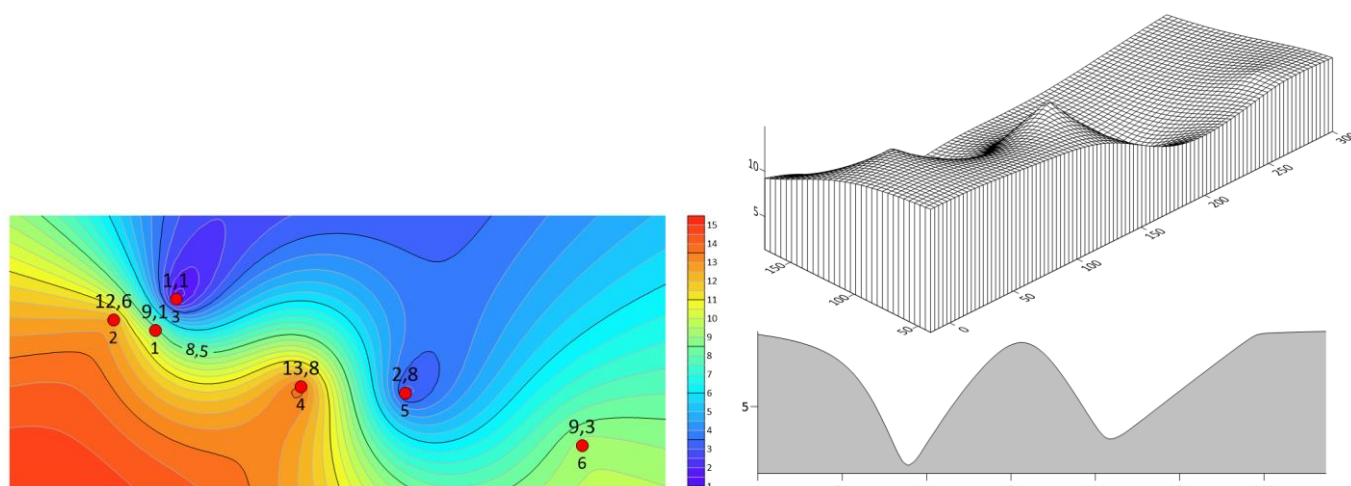


Рисунок 13. Моделювання поширення Zn у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

На відстані 100 м від підніжжя у горизонті >15 см спостерігається перевищення допустимих норм миш'яку (2,1 мг/кг). Вміст Cr на всіх ділянках сміттєзвалища та у зоні його впливу не перевищує 0,01 мг/кг (ГДК становить 6 мг/кг). Рухомі форми Ni на досліджуваних ділянках не перевищують норми (4 мг/кг) та становлять 0,5-3,1 мг/кг. Причому, найвищі показники зафіксовано на поверхні сміттєзвалища (2,4 мг/кг) та на відстані 500 м (2,1-3,1 мг/кг). Показники кадмію на досліджуваних ділянках становлять 0,1-0,36 мг/кг при допустимих нормах 0,7 мг/кг (рис. 14).

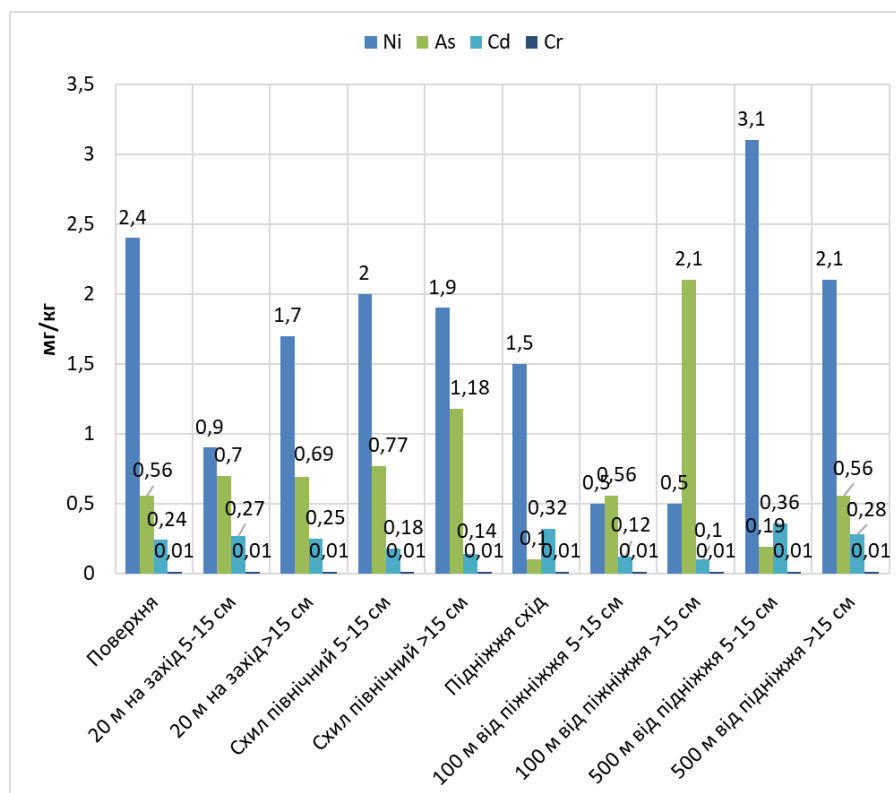


Рисунок 14. Вміст важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопях Львівського сміттєзвалища

Моделювання поширення важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопях Львівського сміттєзвалища наведено на рис. 15-22.

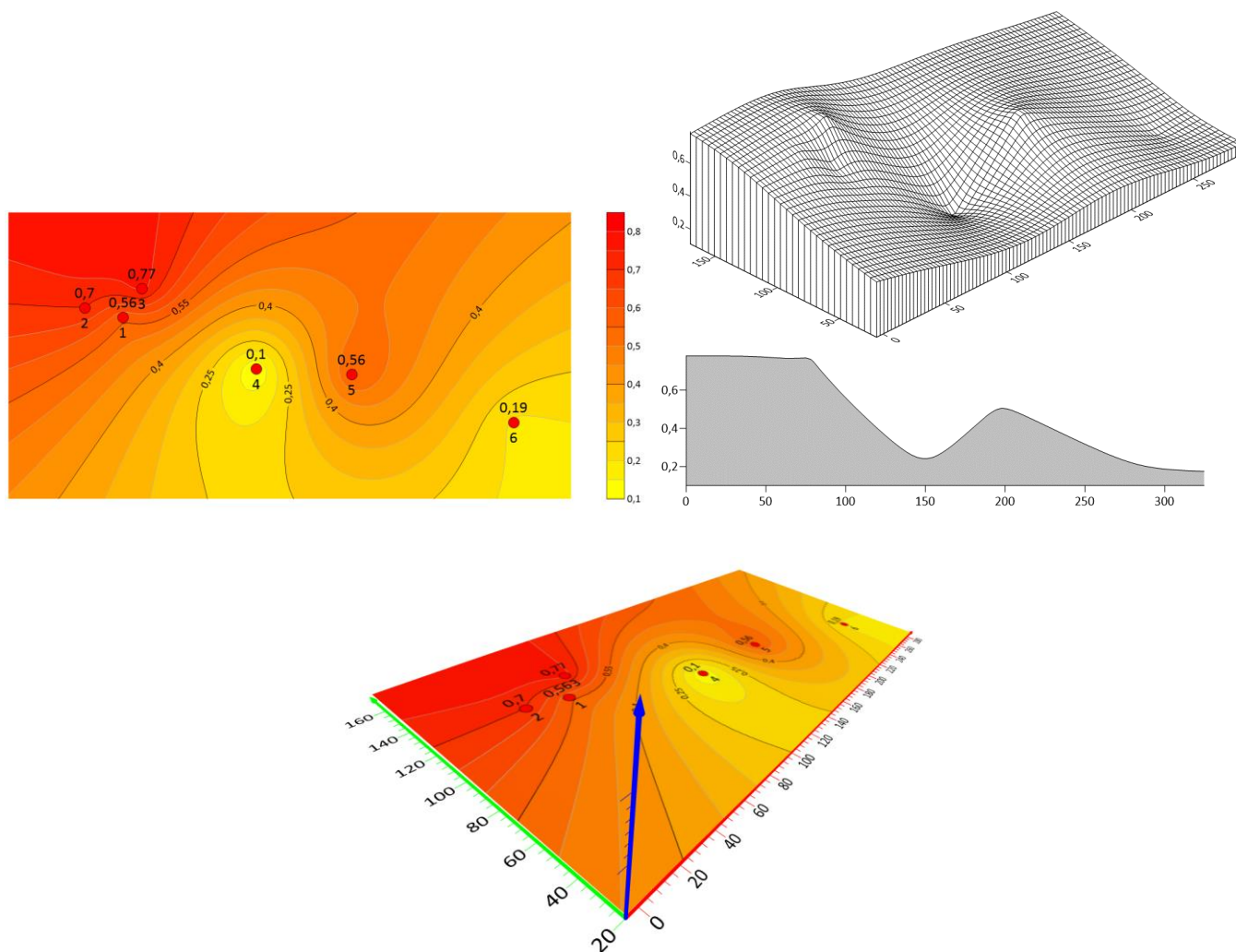


Рисунок 15. Моделювання поширення As у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

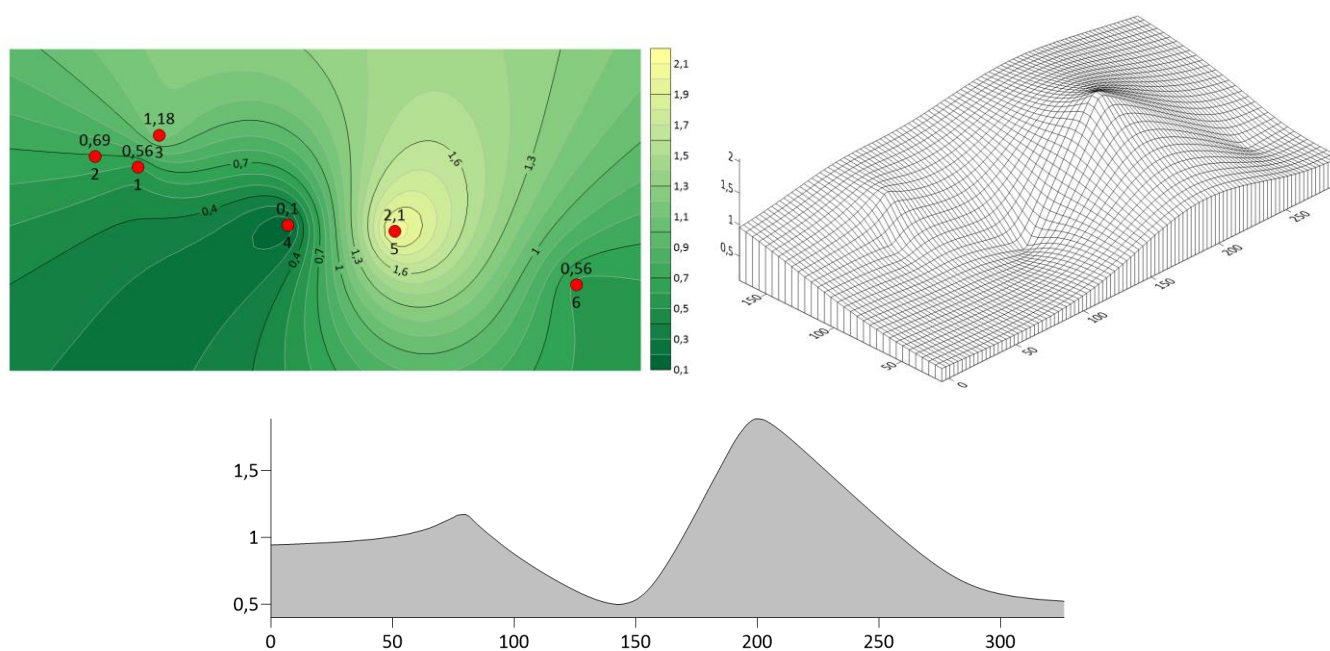


Рисунок 16. Моделювання поширення As у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

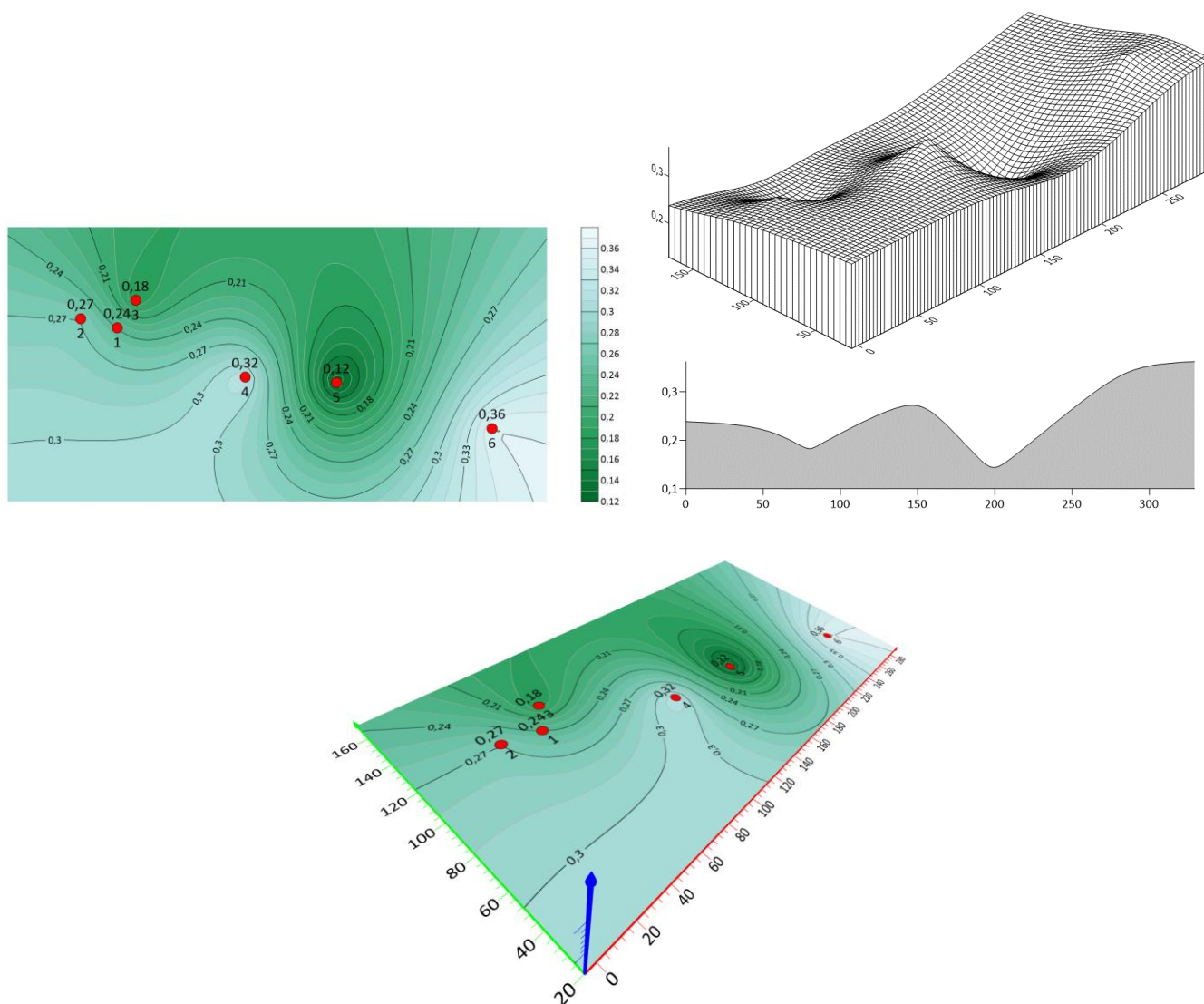


Рисунок 17. Моделювання поширення Cd у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

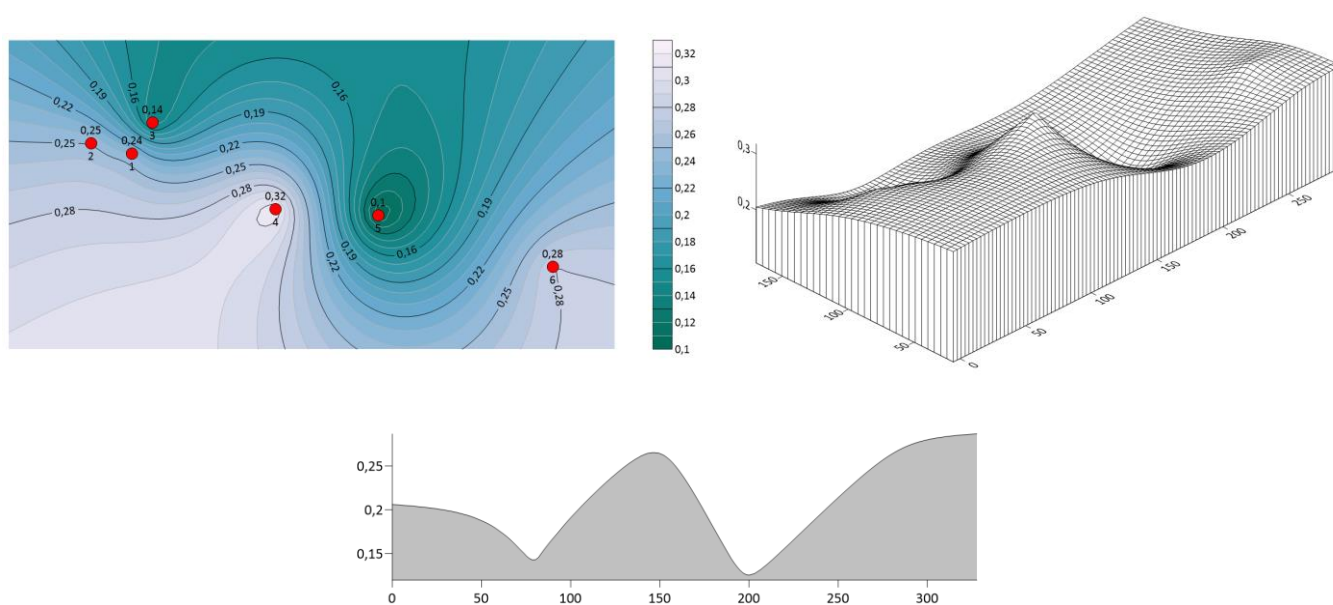


Рисунок 18. Моделювання поширення Cd у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

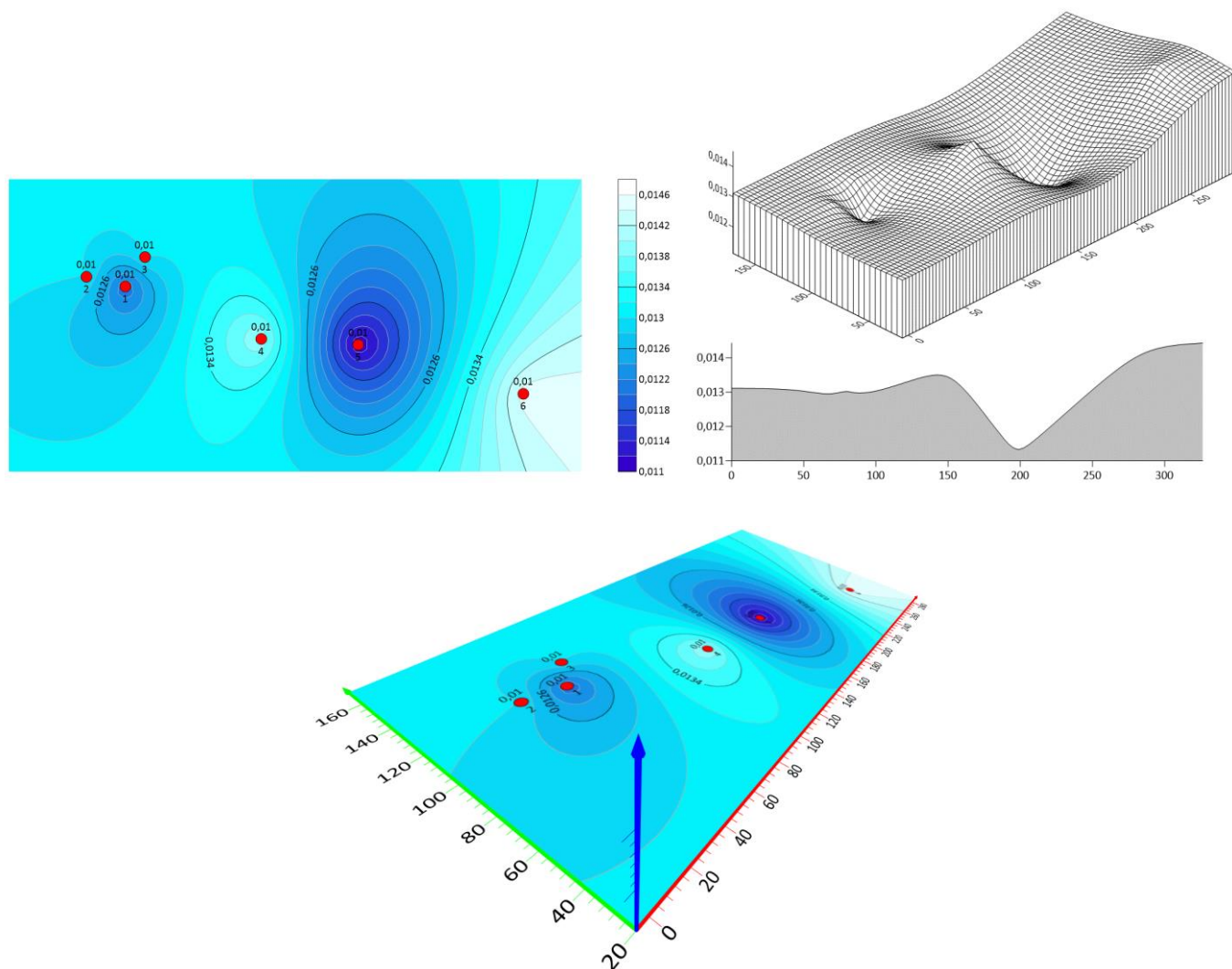


Рисунок 19. Моделювання поширення Сг у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

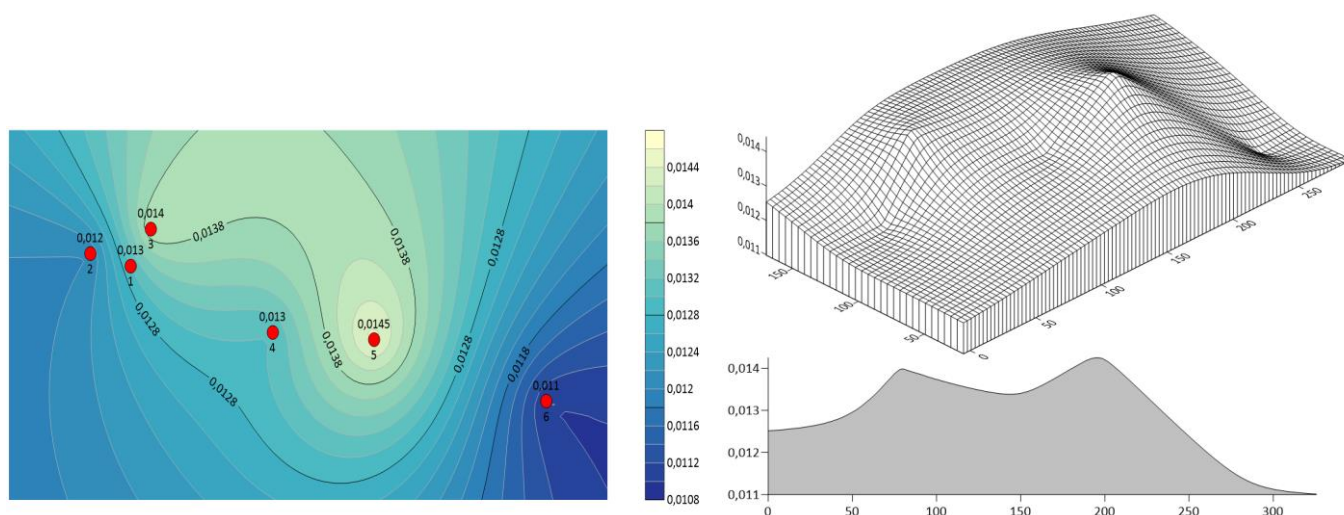


Рисунок 20. Моделювання поширення Сг у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

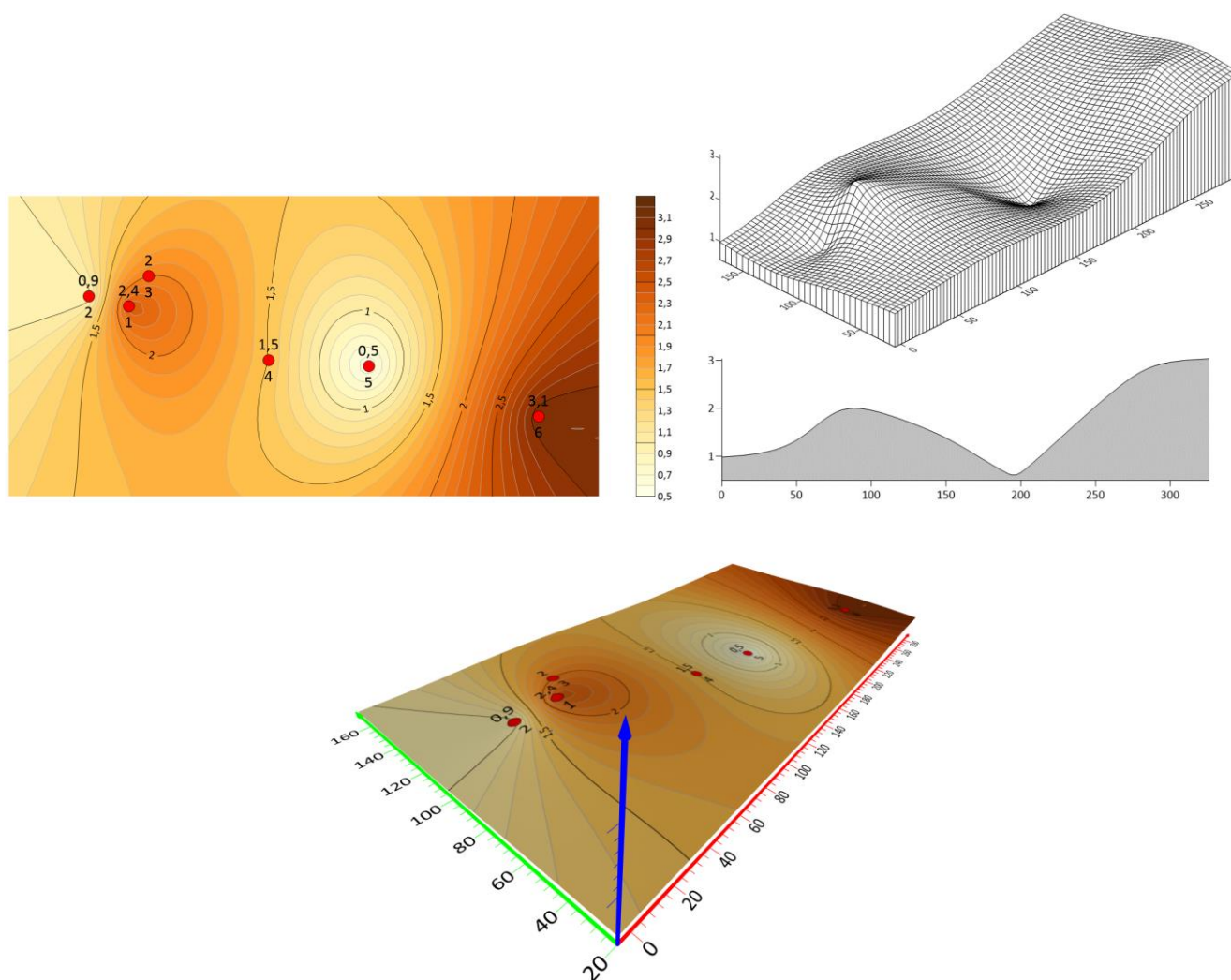


Рисунок 21. Моделювання поширення Ni у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

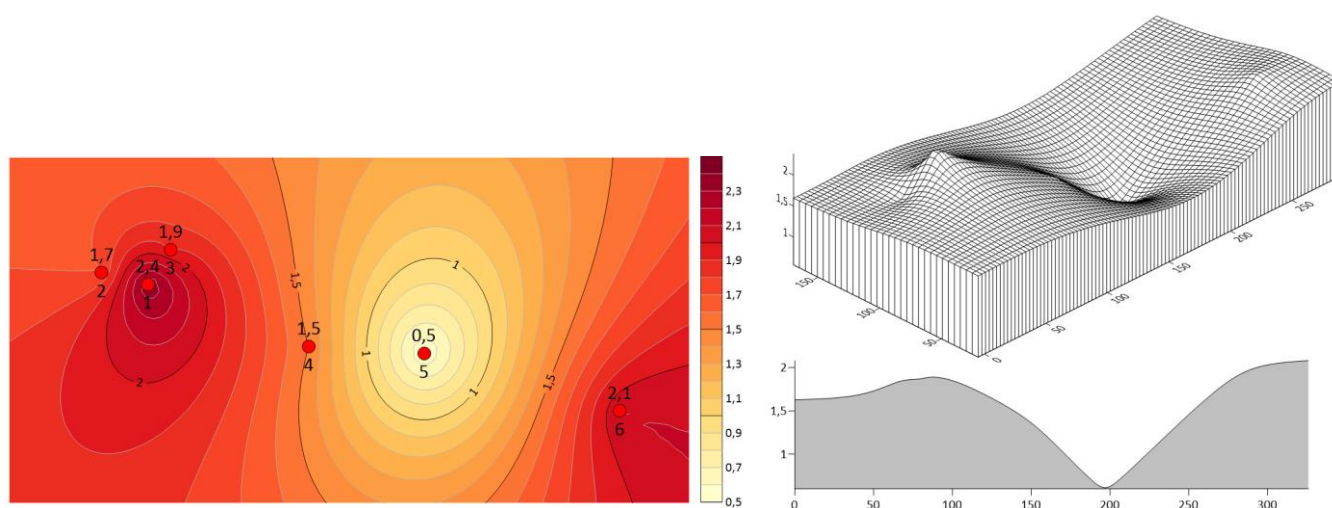


Рисунок 22. Моделювання поширення Ni у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

Загалом, значне накопичення важких металів відбувається біля підніжжя та на певній відстані від підніжжя сміттєзвалища. На поверхні сміттєзвалища та на бічних його поверхнях перевищення допустимих норм важких металів спостерігається фрагментарно.

Дослідження едафотопів Львівського міського сміттєзвалища на вміст радіонуклідів показали про їх депонування у нижніх горизонтах. Перевищення допустимих норм (НРБУ-97) вмісту радіонуклідів у едафотопах сміттєзвалищ не спостерігається.

У горизонті 5-15 см загальна питома активність радіонуклідів становила $79,2^{+11,1}$ Бк/кг. Причому вміст деяких радіонуклідів був наступним: ^{40}K – 258 Бк/кг; ^{226}Ra – 14,9 Бк/кг; ^{232}Th – 32,3 Бк/кг (рис. 23).

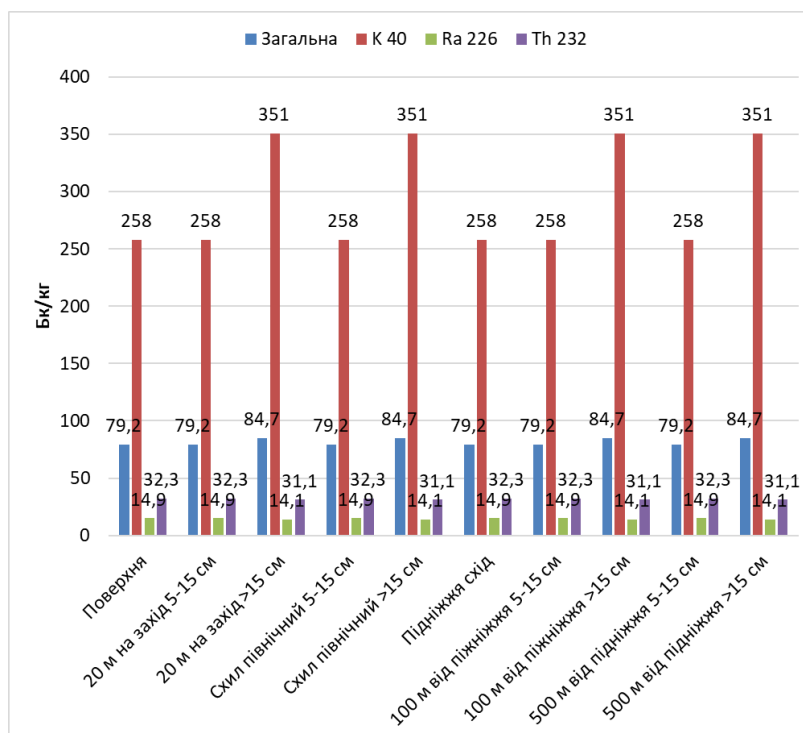


Рисунок 23. Вміст важких металів Ni, As, Cd, Cr у едафотопах Львівського сміттєзвалища

Високі показники загальної питомої активності радіонуклідів ($84,7^{+13,7}$ Бк/кг) спостерігаються на глибині більше 15 см на таких ділянках – 20 м на захід від сміттєзвалища; на середній експозиції північного схилу; за 100 м і 500 м від підніжжя сміттєзвалища. Водночас вміст радіонуклідів тут становив: ^{40}K – 351 Бк/кг; ^{226}Ra – 14,1 Бк/кг; ^{232}Th – 31,1 Бк/кг.

Моделювання поширення радіонуклідів в едафічних горизонтах наведено на рис. 24-29.

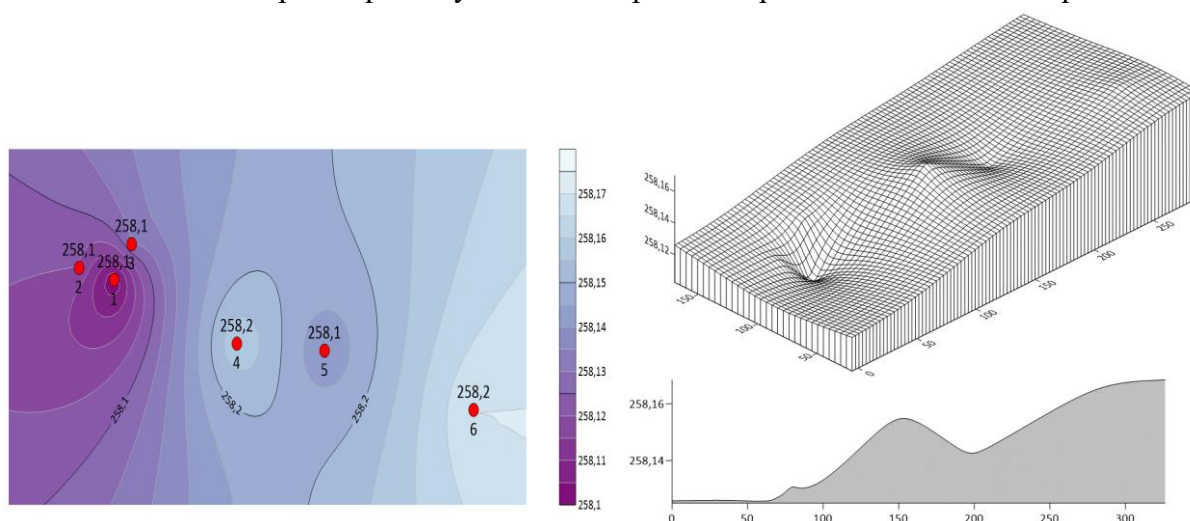


Рисунок 24. Моделювання поширення K у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

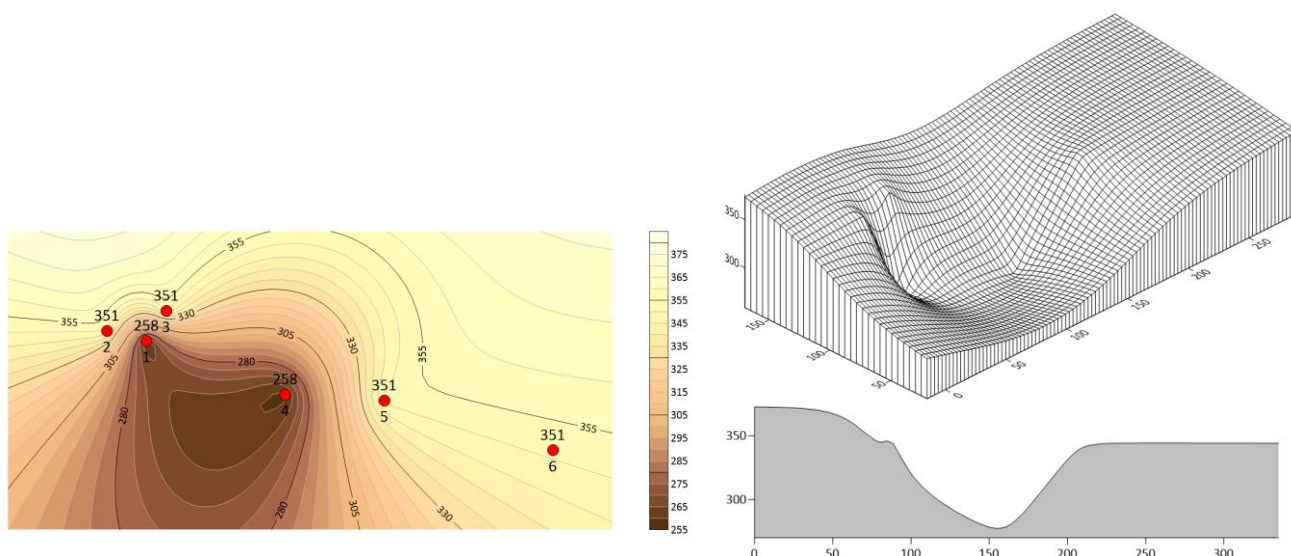


Рисунок 25. Моделювання поширення К у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

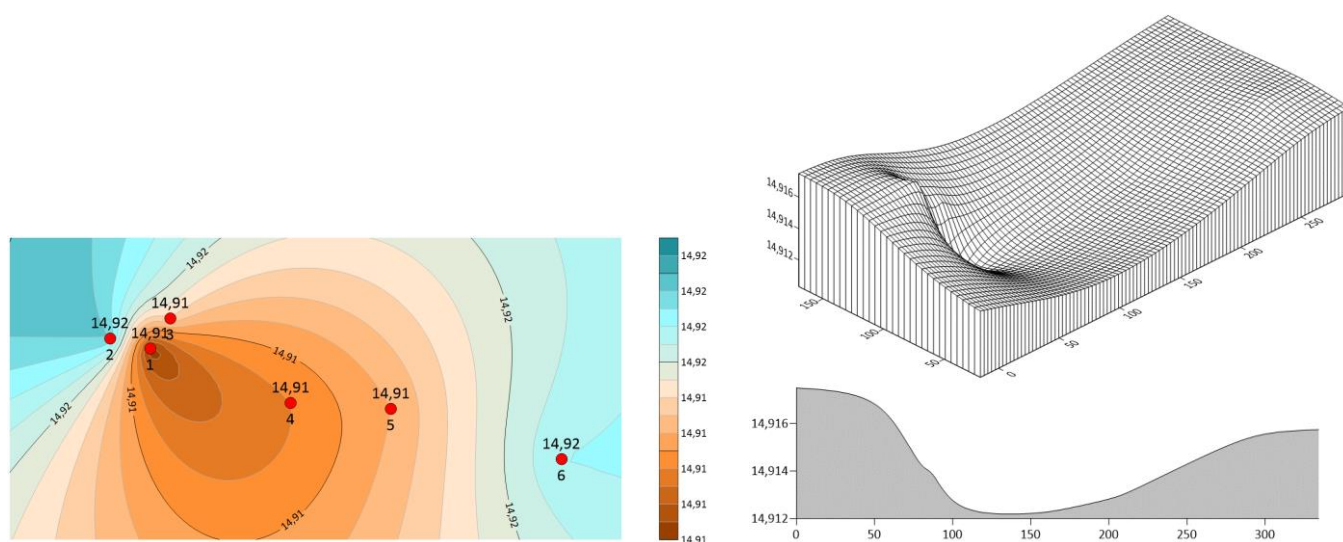


Рисунок 26. Моделювання поширення Ra у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

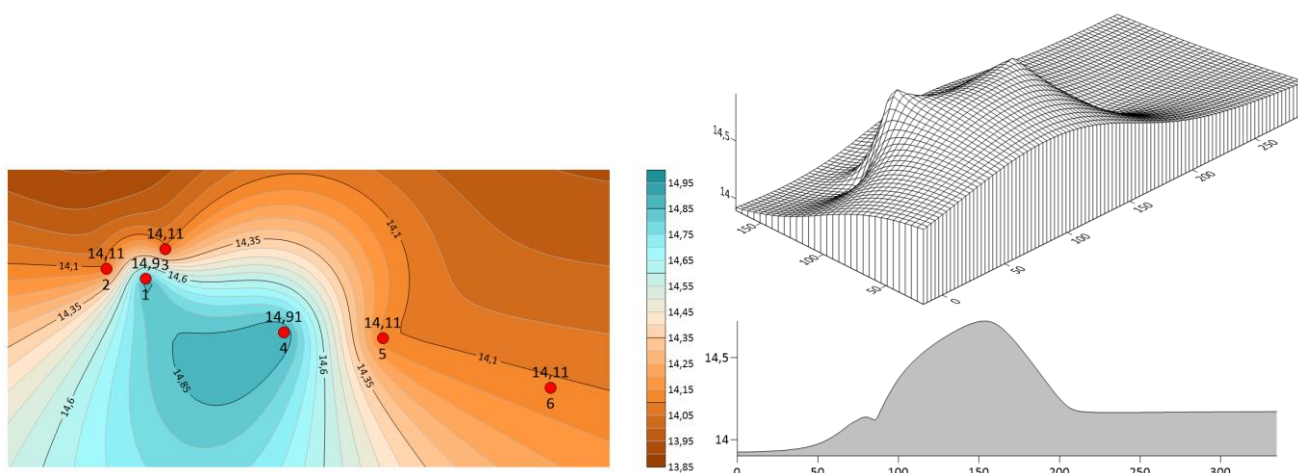


Рисунок 27. Моделювання поширення Ra у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

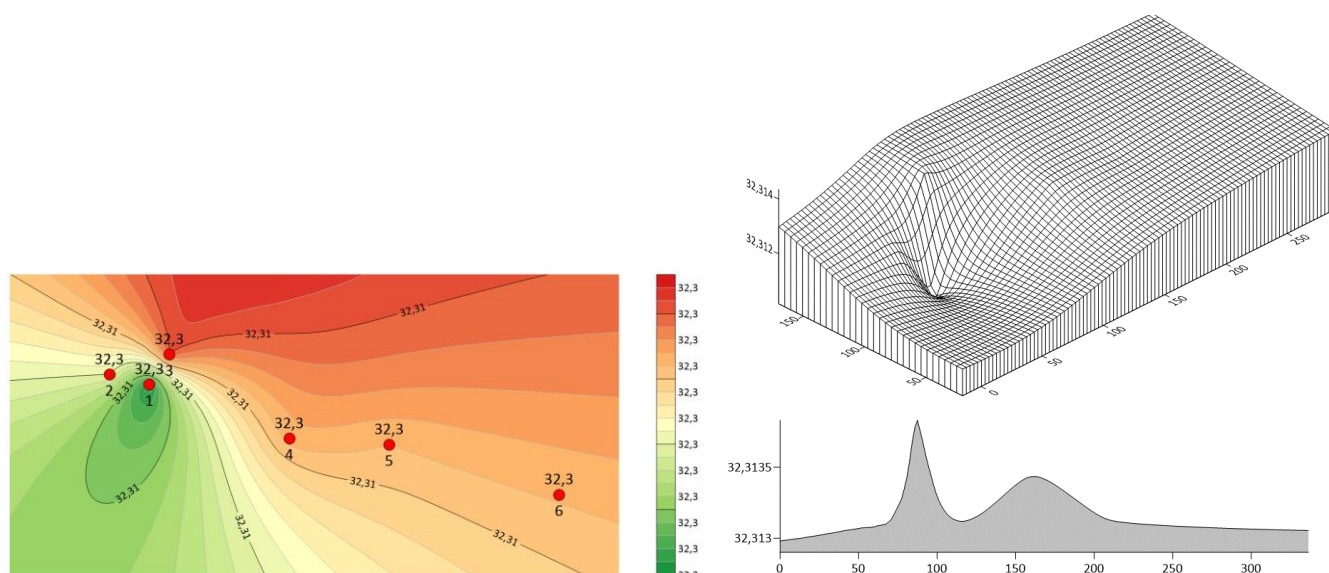


Рисунок 28. Моделювання поширення Th у горизонті 5-15 см у межах впливу сміттєзвалища

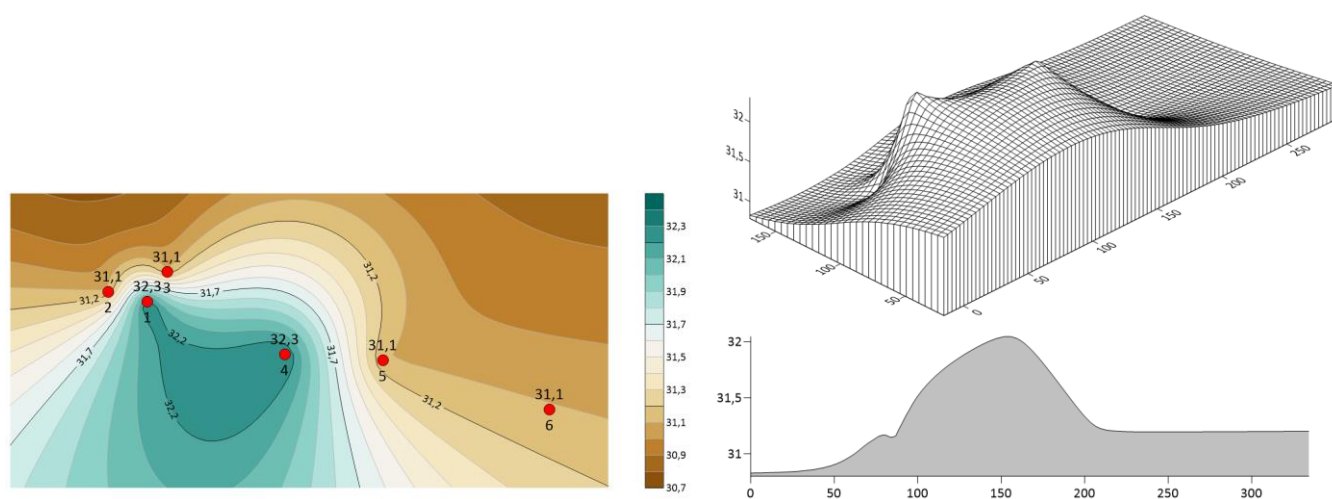


Рисунок 29. Моделювання поширення Th у горизонті >15 см у межах впливу сміттєзвалища

Вивчення питань щодо накопичення едафотопами сміттєзвалищ радіонуклідів природного походження є важливим із точки зору оцінки комплексного техногенного пресингу негативних факторів на екосистему⁷⁴¹.

Аналіз мікологічного складу антропогенних субстратів Львівського міського сміттєзвалища показав, що видовий склад грибів надзвичайно збіднений⁷⁴². Причиною таких явищ є підвищена кислотність субстрату (мікроміцети при такій умові гинуть) та високий вміст важких металів (чутливість родів *Phoma* і *Fusarium*). Розвиток мікроміцетів роду *Penicillium* є свідченням агресивного середовища в умовах антропогенно змінених умов довкілля. Цей рід розвивається на ділянках сміттєзвалища із підвищеною кислотністю субстрату. Індекс різноманітності за Уїттекером є низьким та становить: $D=S/(\lg N)=10/(\lg 212)=2,32$; де, D – індекс різноманітності; S – кількість видів у описі на площадці стандартного розміру; N – загальна кількість особин в описі.

⁷⁴¹ Василь Попович та Володимир Кучерявий, "Вплив продуктів горіння полігонів твердих побутових відходів на організм людини та біоту" (2012) 20 Пожежна безпека 60, <<https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/PB/article/view/689/689>>.

⁷⁴² Василь Попович, "Макроміцети сміттєзвалищ як біоіндикатори стану техногенного едафотопу" (2012) 2(3) Біологічний вісник МДПУ 59, <www.ufecology.com/articles/macromycetes-of-dumping-sites-as-bioindicators-of-anthropogenic-edaphotop-status.pdf>.

Таблиця 1.

Колонії мікроміцетів антропогенних ґрунтів Львівського сміттєзвалища

Вид	Кількість грибних пропагул на 1 гр. ґрунту (тис.)x10 ⁴
Клас <i>Hyphomycetes (Deuteromycetes)</i>	
Родина <i>Moniliaceae</i>	
<i>Aspergillus ustus</i>	15
<i>Aspergillus fumigatus</i> Fries.var.sclerotiorum	28
<i>Aspergillus fischeri</i> var.spinosus	22
Родина <i>Tuberculariaceae</i>	
<i>Penicillium ochro-chloron</i>	15
<i>Penicillium brevicompactum</i>	18
<i>Fusarium avenaceum</i>	34
<i>Fusarium expansum</i>	12
Родина <i>Dematiaceae</i>	
<i>Aureobasidium pullulans</i>	43
<i>Phoma glomerata</i>	16
<i>Phoma pomorum</i>	9

Фізико-механічні властивості субстратів сміттєзвалища у зоні горіння наведені у таблиці 2.

Таблиця 2.

Фізико-механічні властивості субстратів сміттєзвалища у зоні горіння

Досліджувана ділянка	Горизонт, см	pH	Вологість шару, %	Зв'язність, кг/см ²	Виявлені колонії мікроміцетів
Південна експозиція схилу	0-5 5	5,0	35,5	6	<i>Penicillium ochro-chloron</i> , <i>Aspergillus fumigatus</i>
Західна експозиція схилу	0-5 5	6,5	40,2	7	<i>Aspergillus fumigatus</i> , <i>Rhizopus oryzae</i>
Поверхня сміттєзвалища	0-5 5	5,5	37,3	21	<i>Penicillium ochro-chloron</i> , <i>Rhizopus oryzae</i>
Берегова зона гудронового озера	0-5 5	6,5	57,8	17	<i>Aspergillus niger</i>

Мікроміцети на сміттєзвалищах виконують важливу екологічну функцію – розкладають органічні відходи з утворенням гумусу. Вирощені у лабораторних умовах колонії мікроміцетів, а саме – *Aspergillus fumigatus* (родина *Moniliaceae*), *Aspergillus niger* (родина *Moniliaceae*), *Rhizopus oryzae* (родина *Mucoraceae*), *Penicillium ochro-chloron* (родина *Moniliaceae*) притаманні техногенно забрудненим територіям. Ці види є домінантними у зразках субстратів зони горіння сміття.

Таким чином, у зоні впливу горіння сміттєзвалищ колонії мікроміцетів мають незначний видовий склад. Субстрат характеризується низьким вмістом гумусу, кислою реакцією середовища, високою зв'язністю. Виявлені мікроміцети у зоні горіння є індикаторами забруднення важкими металами субстратів, викликають різноманітні захворювання людей, у тому числі алергічні реакції. Зокрема, вид *Aspergillus niger* притаманний субстратам, які забруднені нафтою та нафтопродуктами. *Penicillium ochro-chloron* – спороносний вид, який свідчить про надмірний вміст важких металів у субстратах. *Aspergillus fumigatus* притаманний середовищам, де знижений вміст кисню (в т. ч. унаслідок горіння). *Rhizopus oryzae* викликає алергічні реакції людини.

Розподіл мікроміцетів Львівського сміттєзвалища за забарвленням показав, що всі види, які набули розвитку відносяться до темnobарвних. Розвиток темnobарвних мікроміцетів є свідченням техногенно небезпечного середовища, адже меланіни приймають участь у захисних реакціях мікобіоти проти стресів. Світлобарвні мікроміцети мають значно нижчі захисні функції і в умовах техногенного пресингу не розвиваються та гинуть.

За швидкістю росту переважають повільно зростаючі мікроміцети (80%), що свідчить про збіднений мінеральний склад едафотопів. Швидко зростаючі мікроміцети (цукрові мікрогриби або сахаролітики) притаманні гумусованим субстратам, які багаті на органічні сполуки.

4. ВИСНОВКИ

У результаті досліджень техногенних едафотопів Львівського сміттєзвалища було встановлено:

- найбільшого розвитку на кислих ґрунтах набули такі види трав'яної та деревно-чагарникової рослинності: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Taraxacum officinale* Wigg., *Arctium lappa* L., *Equisetum arvense* L., *Humulus lupulus* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L., *Hippophae rhamnoides* L., *Betula pendula* Roth.;
- з точки зору зволоження едафічні умови на глибині 1-10 см на досліджуваних ділянках сміттєзвалища є позитивними для розвитку рудеральної рослинності (*Chenopodium urbicum* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Cirsium vulgare* (Savi.), *Equisetum arvense* L., *Artemisia absinthium* L., *Artemisia vulgaris* L.), значення зв'язності едафотопів (опору зм'яттю) знаходяться у межах 1-7 кг/см³, що відповідає природним значенням лісу або луки;
- вологість едафотопів на глибині 20 см і більше має позитивний вплив на розвиток деревно-чагарникової рослинності, що є особливо актуальним для сміттєзвалищ;
- дослідження едафотопів на вміст радіонуклідів показали про їх депонування у нижніх горизонтах;
- всі види мікроміцетів, які набули розвитку відносяться до темnobарвних, за швидкістю росту переважають повільно зростаючі мікроміцети (80%);
- значне накопичення важких металів відбувається біля підніжжя та на певній відстані від підніжжя сміттєзвалища. На поверхні сміттєзвалища та на бічних його поверхнях перевищення допустимих норм важких металів спостерігається фрагментарно.

Слід зазначити, що в серпні 2021 року розпочалася рекультивация Львівського сміттєзвалища, проте це не вирішує проблеми техногенного впливу заскладованих відходів. Технічний етап рекультивации передбачав накривання звалища дренажним та ізоляційним шаром. Підготовчі роботи почалися наприкінці 2020 року. На даний час сміттєзвалище накрите ізоляційним шаром та спостерігається часткове покриття шаром родючих ґрунтосумішей. Результати наведених досліджень можуть мати практичне втілення під час біологічного етапу рекультивации сміттєзвалищ у межах регіону.